# 飞行参数对太阳能飞机中光伏组件 性能影响的研究



金鑫<sup>1,2,3</sup>,肖文波<sup>1,2,3,\*</sup>,吴华明<sup>1,3</sup>,郭壮<sup>1,3</sup>,李军华<sup>2</sup>,叶国敏<sup>1,3</sup>,夏情感<sup>1,3</sup>

南昌航空大学 无损检测技术教育部重点实验室,江西 南昌 330063
 南昌航空大学 江西省图像处理与模式识别重点实验室,江西 南昌 330063
 南昌航空大学 江西省光电检测技术工程实验室,江西 南昌 330063

摘 要:太阳能飞机的动力来自光伏组件的发电,飞机飞行参数(飞行高度、飞行速度等)会影响光伏组件的性能。因此,本 文从飞行参数出发,分析并总结出其影响单晶硅光伏组件性能的规律。结论为:当飞行高度在0~12km范围内,光伏组件的 性能随着高度的增加而增加,但有饱和的趋势;当超过22km时,组件性能下降。飞行速度的增加有提升光伏组件性能的趋势,原因在于组件表面温度会随着速度的增加而下降。一天之中,光伏组件性能基本以太阳12点为轴近似对称,中午最强, 上午略高于下午;一年中组件性能夏季最强,冬季最弱。当飞行区域处于低纬度时,一年之中光伏组件性能变化较小,总输 出功率相对较大;而在高纬度区域,组件性能波动较大,总输出功率相对较小。本文为长时间驻空飞行的太阳能飞机的研制 提供一定的帮助。

关键词:太阳能飞机,光伏组件,飞行参数,光伏电池性能,文献综述

#### 中图分类号:TK51

文献标识码:A

DOI: 10.19452/j.issn1007-5453.2019.10.011

随着光伏电池转换效率、微电子技术以及新材料技术 研究的不断深入,太阳能飞机的研发速度越来越快<sup>[1]</sup>。面 对长时间驻空飞行的需求,太阳能飞机的研制中仍有许多 难题待解决<sup>[2,3]</sup>。这些问题中,既包括太阳能飞机的动力需 求问题<sup>[4]</sup>、机翼铺设光伏组件的排列方式问题<sup>[5,6]</sup>,还包括飞 行环境<sup>[7]</sup>、飞行速度影响光伏组件性能等问题<sup>[8,9]</sup>。

实际上,有研究表明太阳能飞机所需功率与飞行高度 成指数关系,随着高度的增加,所需的功率急剧增加<sup>[10]</sup>。绝 大多数太阳能飞机的光伏组件使用单晶硅电池,参考目前 单晶硅电池的转换效率,光伏组件的输出功率无法满足飞 机的动力需求<sup>[11]</sup>。此外,由于光伏组件的性能对环境十分 敏感,飞行参数中的飞行高度、飞行速度、飞行时间和飞行 区域等对组件的性能都有影响<sup>[12]</sup>。因此,为了有效设计与 管理太阳能飞机的动力系统,以便实现最佳的飞行,本文分 析并总结了单晶硅光伏组件性能随飞行高度等参数的变化 规律。

### 1 飞行高度

在飞行高度对光伏组件性能影响的研究中,成珂等<sup>[13]</sup> 认为高度对组件的影响,是通过组件表面温度在不同高度 下的特征影响的。光伏组件表面温度由热平衡原理建立的 模型决定,如式(1)所示:

收稿日期: 2019-07-02; 退修日期: 2019-10-02; 录用日期: 2013-10-05

基金项目:航空科学基金(2017ZC56003);国家自然科学基金(1264031);江西省自然科学基金(20192BAB202006,20151BAB207054);江西省 图像处理与模式识别重点实验室开放基金(ET201908119);江西省优势科技创新团队项目(20181BCB24008);无损检测技术教育部 重点实验室开放基金(EW201980090);研究生创新基金(YC2019-S348)

<sup>\*</sup>通信作者.Tel.: 13979108205 E-mail: xiaowenbo1570@163.com

引用格式: Jin Xin, Xiao Wenbo, Wu Huaming, et al. Research on influence of flight parameters on performance of photovoltaic modules in solar aircraft[J]. Aeronautical Science & Technology, 2019, 30(10): 70-76. 金鑫,肖文波,吴华明,等. 飞行参数对太阳能飞机中光伏 组件性能影响的研究[J]. 航空科学技术, 2019, 30(10): 70-76.

ε・G=ε・σ・( $T^4 - T_{sky}^4$ ) + h( $T - T_{atm}$ ) + η・G (1) 式中:T为组件表面温度;ε为组件热辐射发射率;σ为玻耳 兹曼常数; $T_{sky}$ 为有效大气温度; $T_{atm}$ 为飞行到某高度时外界 的大气温度;有效大气温度和外界大气温度可根据气象资 料获得。η为组件的转换效率;h为对流换热系数;G为组件 接受的太阳辐射强度。

从式(1)中可以看出,当其他参数不变时,光伏组件表面温度T是由飞行高度影响的T<sub>sky</sub>和T<sub>atm</sub>两个变量决定。 式(2)为组件表面温度与组件最大功率的模型:

$$P_T = G \cdot [1 + (T - 25) \cdot \alpha_P] \tag{2}$$

式中: $\alpha_p$ 为光伏组件功率温度系数。

由式(1)和式(2)可以看出,当高度影响组件表面温度 时,最大功率同样变化。该研究根据历史气象数据仿真 出飞行高度与光伏组件最大功率的关系,如图1所示。其 他飞行参数为:机翼上光伏组件的面积大约为180m<sup>2</sup>,飞 行区域为西安,飞行速度为固定的70km/h,飞行时间为中 午12点。



图1 飞行高度与光伏组件最大功率的关系 Fig.1 Relationship between flight height and maximum power of photovoltaic module

由图1可以看出,当飞行高度增加,光伏组件最大功率 几乎成线性增加;造成这种趋势的原因在于高度的增加,大 气温度的下降和太阳辐射随之增加,则组件最大功率相应 增加。此外,发现当飞行高度到8km左右,高度继续增加, 最大功率有提升变缓趋势。从参考文献[13]可知,组件的 最大功率和输出功率是正线性关系,因此变化规律相同。 上述基于有限的气象资料研究飞行高度对光伏组件最大功 率的影响具有局限性。

为此, Jianfa Wu等[14]从光伏组件转换效率的角度来研

究该问题,建立组件转换效率 $\eta$ 、外界大气温度 $T_{am}$ 的模型, 具体如式(3)和式(4)所示。

$$\eta = [1 + (T - 25)\alpha_{\eta}]\eta^{\text{STC}}$$
(3)

$$T_{\rm atm} = \begin{cases} T_b = 0.0005z & z \le 11000 \\ T_b = 71.5 & 11000 < z \le 20000 \end{cases}$$
(4)

式中: $\alpha_{\eta}$ 为温度系数式; $\eta^{\text{STC}}$ 为标准状态下的光伏组件转 换效率。z为飞行高度; $T_{b}$ 为当地地面环境温度,可由气 象资料获得。Wu建立的热平衡模型和参考文献[13]相 同,式(3)中的T和参考文献[13]中T的计算方法也是相同 的,但区别在于 $T_{\text{atm}}$ 的值由式(4)来确定;因此T在不同的 高度对应不同的值,再根据式(3)获得不同飞行高度对应 的光伏组件的转化效率,结果如图2所示。





由图2可以看出,随着高度的增加,组件的转换效率 也在增加,但增长率在7km附近逐渐变缓;到11km时, 转换效率有饱和的趋势。对比图1和图2,虽然组件最大 功率和转换效率的模型结构类似,但由于模型的系数不 同,并且外界大气温度*T*<sub>atm</sub>与高度*z*的关系也不同,所以 图1组件最大功率随高度的变化更为明显;高度上升 10km,最大功率增加了大约1W。另外,随着高度继续增 加,最大功率和转换效率的增长率都有减小,二者都趋 向饱和。

上述研究的飞行高度的范围仅在0~10km左右,和部 分太阳能飞机的飞行高度不符,例如,美国设计的"探路 者"和太阳神太阳能无人机飞行高度可达20km以上<sup>[15]</sup>, 此外,当飞行的高度更高时,则要考虑的更多的因素。 例如,Joo-Seok Lee 等<sup>[16]</sup>提出当飞机飞行到一定高度时, 大气密度、大气透过率都会影响光伏组件的性能。为此,有人研究了高空环境下的太阳辐射模型和光伏组件 温度模型<sup>[17]</sup>,结论说明:11~22km较适合太阳能飞机的飞 行;当飞机持续上升(22~30km范围),由于大气密度降 低、太阳辐射增强,导致组件散热变差,从而输出功率 下降。

## 2 飞行速度

太阳能飞机其受到自身能源的限制,飞行速度相对较 慢,但目前我国研制的新型"启明星"系列太阳能飞机速度 可达到130km/h,当飞机到达这个速度时,飞行速度会导致 光伏组件表面温度产生明显的变化,从而速度对组件性能 的影响不可被忽略<sup>[18]</sup>。

太阳能飞机在空中飞行时,飞行速度主要影响机翼上 光伏组件表面的风速<sup>[19]</sup>。在风速对光伏电池性能影响的研 究中,B. Tanima 等<sup>[20]</sup>测量了不同风速下电池的电压、电流, 得到电池转换效率和风速的关系:当电池表面风速增加,转 换效率随之增加;风速在 0.5~4.5m/s 的范围内,二者成线性 关系。然而,S. Mekhilef 等<sup>[21]</sup>从热平衡的角度建模研究该 问题时,得到了不同的结论,认为风速和光伏电池输出功率 的关系并不是线性的。模型中假设电池的换热是一维的, 光伏电池顶部表面是水平的、光滑的,风速为 V,如图 3 所示。



图 3 典型光伏电池的传热方式 Fig.3 Typical mode of heat transfer in photovoltaic cells

根据图3得到的能量守恒方程为:

$$q^{\prime\prime}{}_{\rm cond} = q^{\prime\prime}{}_{\rm conv} - Gs \tag{5}$$

式中: $q''_{cond}$ 为光伏电池获得的能量;s为电池的表面积; $q''_{conv}$ 为电池对流换热损失的能量,如式(6)所示:

$$q''_{\rm conv} = h(T - T_{\rm a}) \tag{6}$$

式中:*T*<sub>a</sub>为环境温度;根据式(6)以及努塞尔数、雷诺数的计算,可得光伏电池表面温度与风速的关系:

$$T = \frac{q^{\prime\prime}}{0.0296(\frac{V \cdot x}{v})^{4/5} Pr 1/3 \cdot k} + T_{a}, 0.6 < Pr < 60$$
(7)

式中:L是以米为单位的光伏电池的长度;薄膜温度是电池 表面温度和环境温度的平均值,普朗特数Pr和参数v的值 根据大气表和薄膜温度来获得。

根据式(7)可得,当风速增加时,光伏电池表面温度随 之下降,二者是非线性关系。再由温度与光伏电池输出功 率的非线性关系<sup>[22]</sup>,结合风速、电池表面温度和电池输出功 率的关系,可知风速和光伏电池输出功率的关系并不是线 性的。F. Farivar 等<sup>[23]</sup>在研究太阳能飞机机翼上光伏组件性 能时,也发现上述结论,但认为太阳飞机机翼上的光伏组件 表面带有弧度而并非水平,与上面的模型有区别。

沿着上述思路,研究太阳能飞机飞行速度对光伏组件 输出功率的影响后,得到结论如下<sup>[13]</sup>:飞行速度在0~20km/ h时,组件功率随着飞行速度的升高而快速增大;原因是当 太阳辐射、环境温度等条件相同时,飞行速度增大,增强了 组件对周围环境散热,有利于降低组件表面温度。在这种 情况下,平均每加速10km/h,开路电压提高3.90%,短路电 流降低0.31%,最大功率提高5.32%。而当飞行速度超过 20km/h后,飞行速度继续增加,组件最大功率增长率减小, 并出现饱和的趋势。而K. George等<sup>[24]</sup>研究太阳能飞艇的 飞行速度与光伏组件转换效率的关系时,得到不同的结论: 当飞行速度持续增加时,组件性能的增长率是越来越大的。 根据式(8)得到的飞行速度与组件转换效率关系如图4 所示。





$$\eta = \frac{3.01 \times 10^{-5} L_{a}^{2} V_{a}^{3}}{A_{array}}$$
(8)

式中: $L_a$ 为飞艇的长度; $A_{array}$ 为光伏组件的面积; $V_a$ 为飞行 速度。从图4可知,随着速度的增加,组件的转换效率也是 相应增加的;但组件转换效率的增加速率越来越大。由于 式(8)中飞行速度与光伏组件转换效率是三次方关系,因此 组件的性能并没有饱和的趋势;由于使用的模型不同,也没 有结合气象资料,所以与参考文献[13]的结论不同。又因 为式(8)的局限性,当 $V_a$ =0时,组件转换效率也为0,与实际 的光伏组件的性能规律不符。

# 3 飞行时间

飞行时间对飞机光伏组件性能影响的研究中,时间和 季节的不同主要改变环境温度和太阳辐射强度,从而影响 组件的性能。有研究表明,一天之中,光伏电池的输出功率 主要受太阳辐射强度的影响,在太阳辐射最强的时候会产 生一个峰值;总体来看,输出功率曲线以12点为中轴,左右 近似对称<sup>[25]</sup>。参考文献[26]在研究飞行时间对飞机光伏组 件影响时,得到相似的结论;进一步研究发现由于环境温度 的滞后性,光伏电池上午时段的性能要略高于下午时段<sup>[13]</sup>。 研究还发现,一年中尽管6月夏季的温度和太阳辐射都高 于12月的冬季,但由于6月的雨水较多,光伏组件所能接收 到的太阳辐射较少,从而6月组件平均输出功率略高于12 月,与参考文献[25]结论一致。

为了进一步研究四季中光伏组件性能随飞行时间的变 化,Yu Huang 等<sup>[27]</sup>以北京市冬季1月21日(◊)、春季4月21 日(▽)、夏季7月21日(△)和秋季10月21(▷)为例,结合4个 日期的太阳辐射强度等参数分析组件输出功率,如图5 所示。





从图5中可知见,一天中组件功率随时间的变化规律 和文献[25]得到的结论相似,都有一个峰值。通过一年4个 季节的对比,夏季由于其太阳辐射最强,组件性能最强,再 其次是春季和秋季,冬季时性能最弱。

#### 4 飞行区域

全球范围内,距离较远的地区太阳辐射强度和大气环 境存在明显差异<sup>[28]</sup>,因此要考虑到飞行区域对飞机光伏组 件性能的影响。R. Parvathy等<sup>[29]</sup>给出全球13个城市一整年 的太阳辐射强度曲线及其日照时间曲线,根据光伏电池的 功率特性和文中给的数据可以发现,在全球不同区域,飞机 可以获得的太阳辐射有很大差距,这就导致飞机光伏组件 在不同区域的性能也是不同的。

为此,昌敏等<sup>[17]</sup>在研究太阳能飞机光伏组件性能时,建 立的太阳辐射模型考虑了飞机所处经纬度的变化对组件性 能的影响,得出的北半球中全年范围内不同纬度(φ<sub>lat</sub>)下组 件日均功率(k<sub>pmha</sub>),如图6所示。



图6 全年范围内不同纬度下光伏组件日均功率 Fig.6 Daily average power of photovoltaic module at different latitudes throughout the year

从图6可以看出,日期n<sub>d</sub>从一年的1月1日开始;N为北 纬。飞机在0°N(•)时,冬至日附近组件性能最强,夏至日附 近组件性能最差;而在30°N(▼)和50°N(■)的区域,由于夏 至日附近太阳辐射最强,且大气温度低于低纬度地区,因此 与0°N区域的规律相反。

此外,一年中光伏组件在不同区域的最大输出功率是 近似的,而纬度越高,夏至日附近的组件性能和冬至日附近 的性能差距越大;这就导致飞行区域纬度低,一年之中组件 性能变化较小,输出的总功率较大;纬度高,组件性能波动 大,输出的总功率较小。可见,飞行区域纬度越低对于飞机 光伏组件性能越有利。

### 5 结论

本文以单晶硅光伏组件为例,从影响太阳能飞机光伏 组件性能的飞行高度等飞行参数来综述各个因素影响组件 性能的规律,结论如下:

(1)飞机在0~12km的高度范围内光伏组件的功率和转换效率是随着飞行高度的增加而增加,但组件性能增长有饱和的趋势;11~22km较适合太阳能飞机的飞行;当然并非飞得越高飞机的性能就越好,当飞行高度超过22km,高空环境的改变则会削弱光伏组件的性能。

(2) 当飞机速度增加时,光伏组件的性能是随之提升的。由于理论研究的角度和条件的不同,随着飞行速度的继续增大,组件性能的增加率出现了不同的结论。需要详细试验与理论分析来进一步研究飞行速度对光伏组件性能的影响。

(3)飞行时间的对于飞机光伏组件性能的影响十分明显。一天之中,组件性能基本以太阳时12点为轴左右近似 对称,中午最强,上午略高于下午;一年中夏季组件性能最强,冬季最弱。

(4) 当飞行区域的纬度越低,一年之中光伏组件性能越 平稳,总输出功率越大,更有利于组件平稳供电;而纬度越 高,夏至日附近和冬至日附近,光伏组件性能的差异越大, 性能波动越明显,组件总输出功率越小。

#### 参考文献

[1] 曹潇,王正平,贺云涛,等. 低空太阳能飞机研究现状及关键技术研究[J]. 战术导弹技术,2019(1):64-71.

Cao Xiao, Wang Zhengping, He Yuntao, et al. Research status and key technologies of low-altitude solar UAV [J]. Tactical Missile Technology, 2019(1):64-71. (in Chinese)

[2] 陶于金.临近空间超长航时太阳能飞机发展及关键技术[J].
 航空制造技术,2016(18):26-30.
 Tao Yujin. Development and key technologies of solar uav for

ultra-long flight in near space [J]. Aeronautical Manufacturing Technology, 2016(18):26-30. (in Chinese)

[3] 王伟,耿健中,段卓毅,等.太阳能飞机的发展现状及设计特点 分析[C]//第七届中国航空学会青年科技论坛文集.西安, 2017:533-540. Wang Wei, Geng Jianzhong, Duan Zhuoyi, et al. Analysis of the development status and design characteristics of solar aircraft [C]// The 7th Youth Science and Technology BBS Collection of the Chinese Aviation Association. Xi 'an, 2017: 533-540. (in Chinese)

- [4] Spyridon G K, John A E. Design, performance evaluation and optimization of a UAV[J]. Aerospace Science and Technology, 2013(29):339-350.
- [5] 王寅,呼文韬.太阳能飞机太阳电池组阵设计方法研究[J].电 源技术,2018,42(7):1061-1063.
  Wang Yin, Hu Wentao. Research on design method of solar battery array for solar aircraft [J]. Power Technology, 2018,42 (7):1061-1063. (in Chinese)
- [6] Safyanu B D, Zamri O, Mohd N A. Review of photovoltaic cells for solar-powered aircraft applications[J]. International Journal of Engineering &Technology,2018,7(4):131-135.
- [7] Vikrant S, Chandel S S. Performance and degradation analysis for long term reliability of solar photovoltaic systems: a review
   [J]. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 2013(27): 753-767.
- [8] Philipp O, Amir M, Thomas M, et al. A solar-powered handlaunchable UAV for low-altitude multi-day continuous flight [C]// ETH Zurich Research Collection. Zurich ,2015.
- [9] Kyosic S, Hoyon H, Jon A. Mission analysis of solar UAV for high-altitude long-endurance flight reviews[J]. Journal of Aerospace Engineering, 2018, 31(3): 04018010.
- [10] Vijay S D, Prashant K, Ajoy K G, et al. Selection of size of battery for solar powered aircraft[J]. IFAC Papers On Line, 2018, 51(29):424-430.
- [11] H'ector M, González V. Design, construction and test of the propulsion system of a solar UAV[Z]. MSc, Aerospace Engineering, Technical University of Lisbon, 2013.
- [12] Gao Xianzhong, Hou Zhongxi, Guo Zheng, et al. Energy management strategy for solar-powered high-altitude longendurance aircraft[J]. Energy Conversion and Mana gement, 2013(70):20-30.
- [13] 成珂,王忠伟,周洲.太阳能飞机工作条件对太阳能电池性能 的影响[J]. 西北工业大学学报,2012,30(4):535-540.
   Cheng Ke, Wang Zhongwei, Zhou Zhou. Influence of working conditions on solar cell performance of solar aircraft [J].

Journal of Northwest Polytechnic University, 2012, 30(4):535-540. (in Chinese)

- [14] Wu Jianfa, Wang Honglun, Huang Yu, et al. Energy management strategy for solar-powered UAV long-endurance target tracking[J]. Transactions on Aerospace and Electronic Systems, 2018,13(1):50-54.
- [15] Oliveria F A, Lourenco F C, Devezas T C. High-altitude platforms - present situation and technology trends[J]. Journal of Aerospace Technology Management, 2016,8(3):249-262.
- [16] Joo-Seok Lee, Kee-Ho Yu. Optimal path planning of solarpowered UAV using gravitational potential energy[J]. Transactions on aerospace and electronic systems, 2017, 53(3): 1442-1451.
- [17] 昌敏,周洲,成珂,等.高空驻留太阳能飞机主动式光伏组件面 功率特性研究[J].航空学报,2013,34(2):273-281.
  Chang Min, Zhou Zhou, Cheng Ke, et al. Study on the power characteristics of active photovoltaic module surface of highaltitude solar aircraft [J]. Acta Aeronautica Sinica, 2013,34(2): 273-281. (in Chinese)
- [18] Nuri G , Weihao Hu , Peng Hou, et al. Investigation of wind speed cooling effect on PV panels in windy locations[J]. Renewable Energy, 2016,90:283-290.
- [19] Spyridon G K, John A E. Design, performance evaluation and optimization of a UAV[J]. Aerospace Science and Technology, 2013(29):339-350.
- [20] Bhattacharya T, Chakraborty A K, Pal K. Effects of ambient temperature and wind speed on performance of monocrystalline solar photovoltaic module in Tripura, India[Z].Journal of Solar Energy, 2014.
- [21] Mekhilef S, Saidur R, Kamalisarvestani M. Effect of dust, humidity and air velocity on efficiency of photovoltaic cells[J]. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 2012 (16):2920-2925.
- [22] 戴锦,肖文波,胡芳雨,等. 光伏发电性能物理预测模型的研究
  [J]. 电源技术,2018, 42(2): 262-266.
  Dai Jin, Xiao Wenbo, Hu Fangyu, et al. Research on physical prediction model of photovoltaic power generation performance [J]. Power Supply Technology, 2018, 42 (2): 262-266. (in Chinese)
- [23] Farivar F, Majid V, Omid R, et al. Considerable parameters of

using PV cells for solar-powered aircrafts[J]. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 2013(22):81-91.

- [24] George K, David W, James P O, et al. Collection of environmental data from an airship platform [J]. Proceedings of SPIE,2001(4571):76-83.
- [25] 肖文波,胡方雨,戴锦.全工况下光伏组件输出特性的预测建 模与研究[J].光子学报,2014,11(43):1125002.
  Xiao Wenbo, Hu Fangyu, Dai Jin. Prediction modeling and research of output characteristics of photovoltaic modules under all conditions[J]. Acta Photonica Sinica, 2014, 11(43): 1125002. (in Chinese)
- [26] Grant W, Dehann F , Johan M. Critical design parameters for a low altitude long endurance solar powered UAV[J]. Proceedings of the AFRICON,2009(9):1-6.
- [27] Huang Yu, Wang Honglun, Yao Peng. Energy optimal path planning for Solar-powered UAV with tracking moving ground target [J]. Aerospace Science and Technology, 2013(53): 241-251.
- [28] Lanre O, Saad M, Shahaboddin, et al. A support vector machine-firefly algorithm-based model for global solar radiation prediction[J]. Science Direct, 2015(115): 632-644.
- [29] Parvathy R, Howard S. Implications of longitude and latitude on the size of solar-powered UAV[J]. Energy Conversion and Management, 2015(98):107-114. (责任编辑 陈东晓)

#### 作者简介

金鑫(1997-)男,硕士。主要研究方向:光伏发电及光电 检测。 Tel: 15161874869

E-mail: 1015453412@qq.com

肖文波(1975-)男,博士,教授。主要研究方向:光伏发电 及光电检测。

Tel:13979108205

E-mail: xiaowenbo1570@163.com

吴华明(1975-) 男,博士,副教授。主要研究方向:微纳 光电器件。

 ${\rm Tel}\!:\!13687080106$ 

E-mail: cookey106@126.com

郭壮(1989-)男,博士,讲师。主要研究方向:低维材料光 电性能计算。 Tel: 15856916352 E-mail: guozustc@yeah.net 李军华(1973-)男,博士,教授。主要研究方向:理论计 算。 Tel: 18970923006 E-mail: jhlee126@126.com

# Research on Influence of Flight Parameters on Performance of Photovoltaic Modules in Solar Aircraft

Jin Xin<sup>1,2,3</sup>, Xiao Wenbo<sup>1,2,3</sup>, Wu Huaming<sup>1,3</sup>, Guo Zhuang<sup>1,3</sup>,Li Junhua<sup>2</sup>, Ye Guoming<sup>1,3</sup>,Xia Qinggan<sup>1,3</sup>

1.Key Laboratory of Nondestructive Testing, Ministry of Education, Nanchang Hangkong University, Nanchang 330063, China

2. Key Laboratory of Jiangxi Province for Image Processing and Pattern Recognition, Nanchang Hangkong University, Nanchang 330063, China

3. Jiangxi Engineering Laboratory for Optoelectronics Testing Technology, Nanchang Hangkong University, Nanchang 330063, China

**Abstract:** The power of solar aircraft comes from the power generation of photovoltaic modules, and the aircraft's flight parameters (flight altitude, flight speed, etc.) will affect the performance of photovoltaic modules. Therefore, based on flight parameters, this paper analyzes and summarizes the rules that affect the performance of monocrystalline silicon photovoltaic modules. The conclusions are as follows: when the flight altitude is within the range of 0~12km, the performance of photovoltaic modules increases with the increase of altitude, but there is a trend of saturation. When the distance exceeds 22km, the component performance degrades. The increase of flight speed has a tendency to improve the performance of photovoltaic modules, because the surface temperature of modules decreases with the increase of speed. In a day, the performance of photovoltaic modules is approximately symmetric on the axis of 12:00 solar time, with the strongest at noon and slightly higher in the morning than in the afternoon. The performance of photovoltaic modules is the strongest in summer and the weakest in winter. When the flight area is at low latitude, the performance of photovoltaic modules changes little and the total output power is relatively large. However, in high latitude areas, the performance of photovoltaic modules fluctuates greatly and the total output power is relatively some help for the development of solar - powered aircraft with long - time flight in the air.

**Key Words:** solar-powered aircraft; photovoltaic modules; flight parameters; photovoltaic cell performance; literature review

Received: 2019-07-02; Revised: 2019-10-02 Accepted: 2019-10-05

**Foundation item:** Aeronautical Science Foundation of China(2017ZC56003); National Natural Science Foundation of China (11264031); Scientific Research Foundation of Jiangxi Province(20192BAB202006, 20151BAB207054); The Key Laboratory of Image Processing and Pattern Recognition Foundation of the Jiangxi Province of China(ET201908119); Advantage Science and Technology Innovation team Foundation of the Jiangxi Province of China(20181BCB24008); The Open Fund of the Key Laboratory of Non-destructive Testing of Ministry of Education of Nanchang HangKong University(EW201980090); Graduate Innovation Foundation of Nanchang HangKong University of China(YC2019-S348)

\*Corresponding author.Tel.: 13979108205 E-mail: xiaowenbo1570@163.com